

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

ANALIZA RAZINA PODZEMNIH VODA NA CRPILIŠTU VINOGRADI U OSIJEKU

Diplomski rad

Barbara Rajič
GI 169

Zagreb, 2016



KLASA: 602-04/16-01/109
URBROJ: 251-70-03-16-3
U Zagrebu, 09.09.2016.

Barbara Rajič, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/16-01/109, UR. BROJ: 251-70-03-16-1 od 12.04.2016. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

ANALIZA RAZINA PODZEMNIH VODA NA CRPILIŠTU VINOGRADI U OSIJEKU

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu dr. sc. Željko Duić, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Željko Duić

(titula, ime i prezime)



Prodekanica za nastavu i
studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Lidia Hrnčević

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite

(potpis)

Doc. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

ANALIZA RAZINA PODZEMNIH VODA NA CRPILIŠTU VINOGRADI U OSIJEKU

Barbara Rajič

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U okviru ovog diplomskog rada analiziran je utjecaj količine oborina i crpnih količina u eksploatacijskim zdencima na kolebanje razine podzemne vode u zahvaćenom vodonosnom sustavu crpilišta Vinogradi, s obzirom na udaljenost opažачkih objekata od linije eksploatacijskih zdenaca. Analizirani su podaci prikupljeni u razdoblju od siječnja 2005. godine do prosinca 2015. godine. Podaci su obrađeni računalnim programom Microsoft Excel. Rezultati su prikazani kao nivogrami karakterističnih aktivnih piezometara, odnosno piezometarskih gnijezda koji pokazuju razvitak sniženja u vodonosnoj sredini.

Ključne riječi: crpilište Vinogradi, crpne količine, količina oborine, razina podzemne vode

Diplomski rad sadrži: 25 stranica, 2 tablice, 17 slika i 9 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Željko Duić
Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Željko Duić
Prof. dr. sc. Andrea Bačani
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 19. rujna 2016.

ANALYSIS OF GROUNDWATER LEVEL OF THE WELL-FIELD VINOGRADI IN OSIJEK

Barbara Rajič

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The thesis analyses the impact of rainfall and pumping rates on groundwater level oscillations in the captured aquifer of the well-field Vinogradi, given the distance of the observed objects from the pumping wells line. The data collected between January 2005 and December 2015 were analyzed using the Microsoft Excel computer program. Results are shown as hydrographs of characteristic active piezometers, that is nested piezometers.

Keywords: well-field Vinogradi, pumping rates, rainfall, groundwater level

Thesis contains: 25 pages, 2 tables, 17 figures and 9 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Assistant Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Željko Duić, PhD
Full Professor Andrea Bačani, PhD
Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defense: 19th of September, 2016.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Opis istraživanih područja	2
2.1 Geografski položaj istraživanih područja	2
2.2 Geološke značajke istraživanih područja	3
3. Hidrogeološke značajke porječja rijeke Drave	7
4. Crpilište Vinogradi	8
4.1 Istraživanje crpilišta Vinogradi	8
4.2 Izgrađeno stanje crpilišta Vinogradi	9
4.3 Praćenje rada crpilišta Vinogradi	9
5. Oborine	11
6. Crpne količine	18
7. Zaključak	24
8. Literatura	25

Popis tablica :

Tablica 3-1 Prosječne vrijednosti hidrauličkih parametara prema Urumović i dr., 2011.	7
Tablica 5-1. Mjesečne oborine na meteorološkoj postaji u Osijek za razdoblje 1980-2015. godine (podaci DHMZ-a)	11

Popis slika :

Slika 2-1. Položaj eksploatacijskih zdenaca i piezometara na crpilištu Vinogradi	2
Slika 2-2. Geološka građa površine terena crpilišta Vinogradi prema OGK 1:100000 lista Osijek (Magaš, 1987)	4
Slika 2-3. Regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga istraživanog područja (prema Urumović i dr., 1978 a)	5
Slika 2-4. Litološki profil kvartarnih naslaga zahvaćenih zdencima crpilišta Vinogradi (prema Urumović i dr., 2011).....	6
Slika 5-1. Mjesečne, tromjesečne i godišnje padaline na meteorološkoj postaji Osijek	12
Slika 5-2. Godišnje odstupanje količine oborine u razdoblju 2009- 2015 (http://meteo.hr/index.php , 2016).....	13
Slika 5-3. Kolebanje razina podzemne vode u udaljenim piezometrima	14
Slika 5-4. Kolebanje razine podzemne vode u piezometrima udaljenim od oko 100 do 500m od zdenaca	15
Slika 5-5. Kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-4 smještenom između zdenaca B-14 i Z-15.....	16
Slika 5-6. Kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-9 smještenom pokraj zdenca Z-11	16
Slika 5-7. Kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-7 smještenom oko 20 m južno od zdenca Z-7	17
Slika 6-1. Prikaz ukupnih crpnih količina prema opažanjima u okviru monitoringa.....	19
Slika 6-2. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometrima na najvećoj udaljenosti od linije zdenaca	20
Slika 6-3. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometrima udaljenim od oko 100 do 500m od zdenaca	20

Slika 6-4. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-4	21
Slika 6-5. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-9	22
Slika 6-6. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-7	23

1. Uvod

Crpilište Vinogradi je najveće crpilište na području Republike Hrvatske koje zahvaća pjeskovite aluvijalne vodonosne naslage. Predstavlja izvorište vodoopskrbe grada Osijeka od 25. srpnja 1984. godine, kada je uključeno, do danas. Na crpilištu je u pogonu 18 zdenaca s pojedinačnom crpnom količinom od oko 40 l/s.

Zbog važnosti samog crpilišta velika pozornost je bila usmjerena na izgradnju i održavanje monitoringa ovog crpilišta. Monitoring crpilišta Vinogradi obuhvaća objekte i postupke prikupljanja podataka o režimu rada crpilišta, stanju razina podzemne vode unutar vodonosnog sustava te o kakvoći podzemne vode.

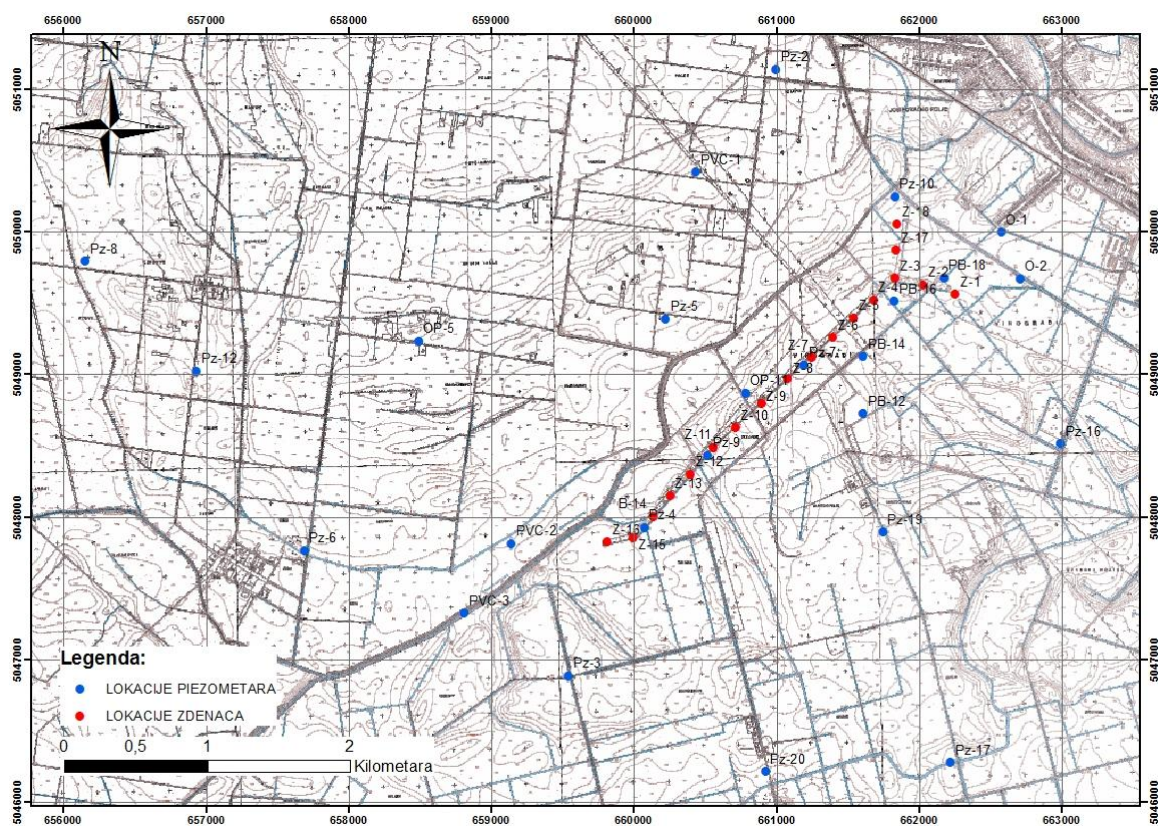
Cilj ovog diplomskog rada je procjena utjecaja količine oborina te kolebanja crpnih količina u eksploatacijskim zdencima na razinu podzemne vode u zahvaćenom vodonosnom sustavu.

Provedena je analiza i usporedba podataka koji se registriraju u okviru monitoringa, odnosno ručnim opažanjem razina podzemne vode i trenutnih crpnih količina, te podataka DHMZ-a o količinama oborina na ovom području, pri čemu je korišten računalni program Microsoft Excel. Analizom je obuhvaćeno razdoblje od siječnja 2005. godine do prosinca 2015. godine.

2. Opis istraživanog područja

2.1 Geografski položaj istraživanog područja

Istraživano područje pripada istočnom, pretežito nizinskom dijelu Republike Hrvatske. Nalazi se u Osječko-baranjskoj županiji, udaljeno 10 km od grada Osijeka. Područje je smješteno na desnoj obali rijeke Drave, koja je imala glavnu ulogu u oblikovanju recentnog reljefa, te je građeno od mlađih riječnih naplavina i praporastih taložina. Crpilište Vinogradi se nalazi na samom razvodu između Poganovačko-Brodničkog kanala i Crnog Foka. Između najznačajnijih pritoka rijeke Drave na ovom području, rijeke Vuke te Karašice s najvećim pritokom Vučicom, je široko područje spleta kanala koji se dreniraju u Poganovačko-Brodnički kanal. Kanal se proteže od Čepinskih Martinaca do Josipovca gdje se ulijeva u staru Dravu. Crpilište Vinogradi se sastoji od niza 18 zdenaca. Linija zdenaca slijedi kanal na udaljenosti od 200 do 500 m od samog kanala (Slika 2-1).



Slika 2-1. Položaj eksploatacijskih zdenaca i piezometara na crpilištu Vinogradi

2.2 Geološke značajke istraživanog područja

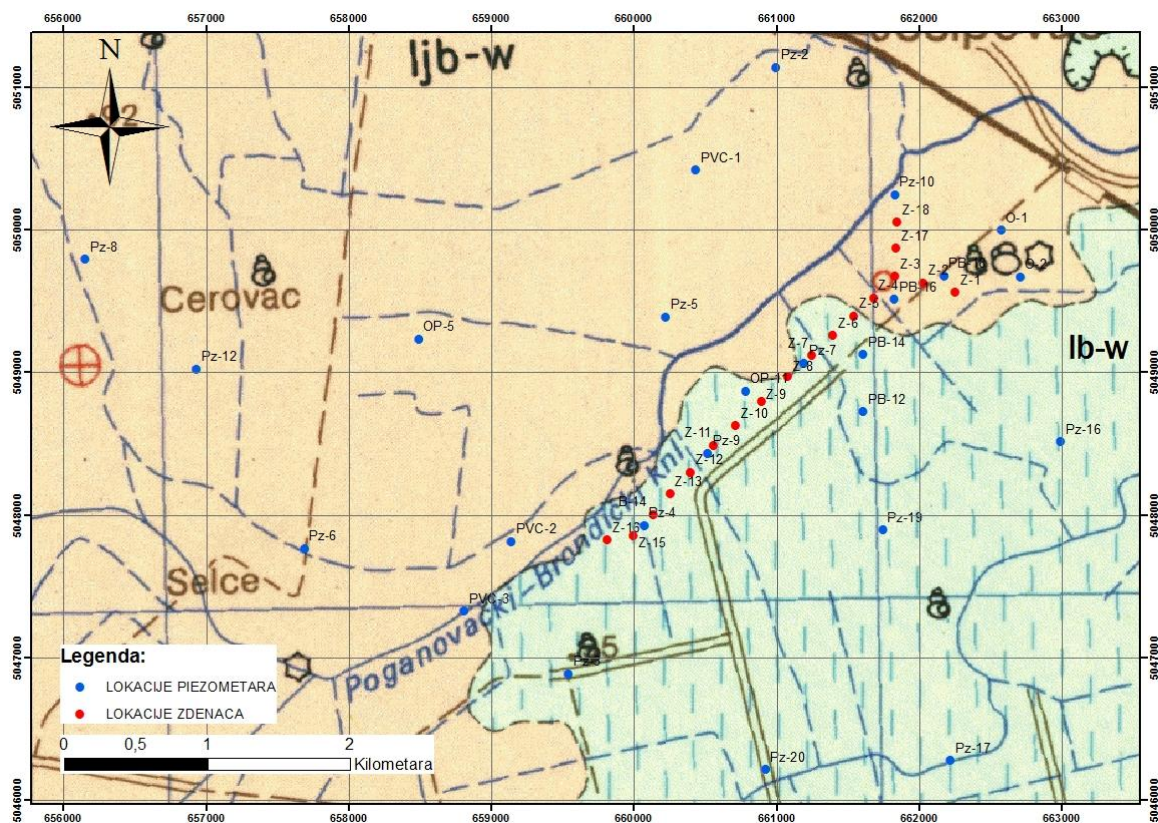
Prema OGK M 1:100000 lista Osijek (Magaš, 1987) i Tumaču (Magaš, 1986) geološka građa područja na kojem je smješteno crpilište Vinogradi je vrlo jednolična. Dubinski dio građe čine starije stijene paleozojske (granit-gnajs i škriljavci) i mezozojske (vapnenci, pješčenjaci i lapori) starosti. Ove naslage nalaze se na površini u slavonskim planinama koje su udaljene oko 50 km od crpilišta Vinogradi (Duić, 2007).

Također, velik dio dubinske građe čine stijene neogenske starosti.

Izdvajaju se naslage srednjeg i gornjeg miocena. Podinu srednjeg miocena izgrađuju kvarcne mikrobreče na koje naliježu sivobijeli do svijetlosmeđi vapnenci, koji sadrže slojeve lapora sa milimetarskim proslojcima sitnozrnatog dobro vezanog pješčenjaka. Gornji miocen izgrađuju pjeskoviti lapori i fino slojeviti, listićavi bijeli vapnenci. Dio kompleksa čine Croatica naslage. To su donjopanonski, tvrdi, čvrsti, „bijeli“ lapori.

Na naslagama miocenske starosti kontinuirano leže naslage donjopliocenske starosti koje čini heterogeni kompleks pješčenjaka, glina, mekih lapora i pjesaka. Srednji i gornji pliocen na ovim prostorima je predstavljen pješčanim naslagama s proslojcima slabo plastičnih glina.

Na površini užeg istraživanog područja nalaze se isključivo kvartarne naslage koje pripadaju holocenu te najmlađem pleistocenu (Slika 2-2). Prevladavaju prah, pijesak i glina. Prema Urumović i dr. (1976) ove naslage karakterizira izmjena slojeva gruboklastičnih i sitnoklastičnih taložina.



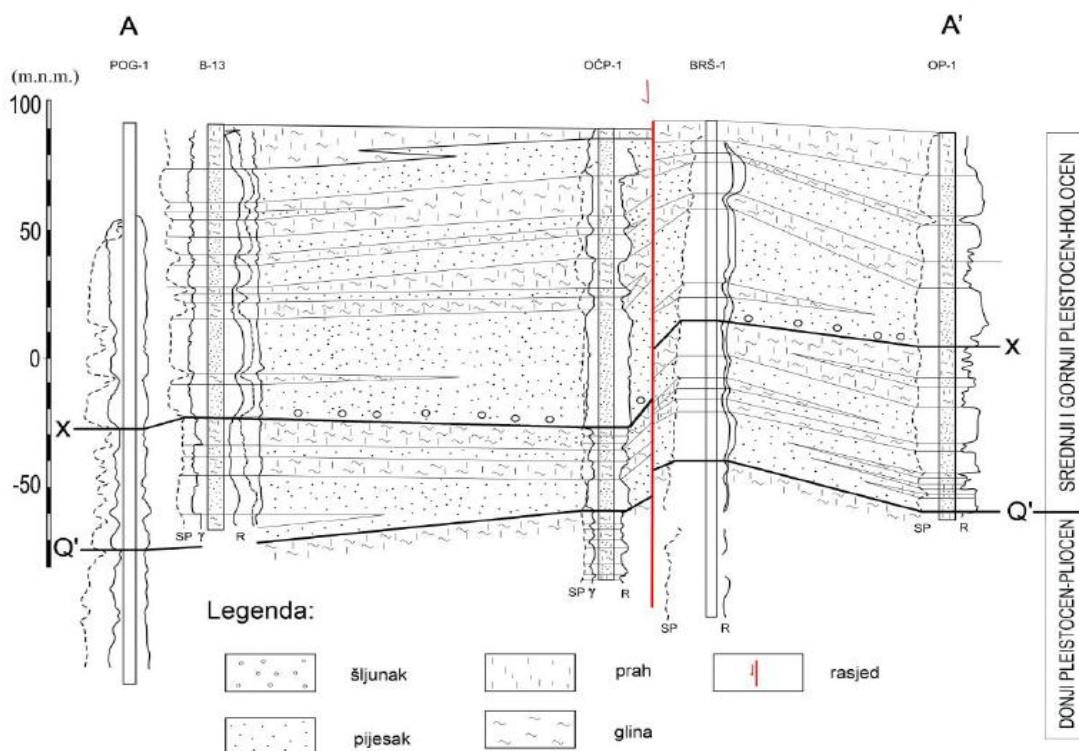
Slika 2-2. Geološka građa površine terena crpilišta Vinogradi prema OGK 1:100000 lista Osijek (Magaš, 1987)

Tumač oznaka: ljb-w – Jezersko barski les; lb-w – Barski les

Gruboklastični materijali su pretežito predstavljeni jednoličnim pijescima sitnog do srednjeg zrna veličine od 0,005 do 0,3 mm. U ovim naslagama dominantno se pojavljuju zrnca kvarca s udjelom između 70 i 80% u ukupnom sastavu, te podređeno odlomci karbonatnih stijena, amfiboliti, graniti, feldspati i epidot. U sitnozrnim pijescima je značajan udjel tinjaca. S obzirom na petrološki sastav te geološke i geomorfološke prilike donesen je zaključak da su izvorišne stijene dominantno bili masivi Alpa, a u podređenoj mjeri slavonskih planina. Sitnoklastični materijali predstavljeni su prahom, pjeskovitim prahom te prašinstim do masnim glinama a u njima prevladavaju sive, sivoplave do zelenkaste boje. Česta je pojava konglomerata kao fragmenata, oštrobrižnih do slabo zaobljenih, obično svijetlosive do zelenkaste i bjeličaste, vapnene boje. U mineralnom sastavu pojavljuju se dominantno zrna kvarca, a u podređenoj mjeri tinjčasti minerali i feldspati. U česticama veličine iznad 0,06 mm pojavljuje se sadržaj kalcita, a u sitnijim sadržaj montmorilonita doseže do 10 %.

Građa kvartarnih naslaga je okarakterizirana izmjenom gruboklastičnih i sitnoklastičnih slojeva na dvije razine mjerila. U nekim slojevima, u kojima prevladava sitnozrnat pijesak ili prah, pojavljuje se tanka, gotovo milimetarska, izmjena slojeva praha i pijeska. Deblji slojevi pijeska okarakterizirani su pojedinačnim ciklusima taloženja, pri čemu je proces započeo s taloženjem nešto krupnijih čestica pijeska u kojemu prevladavaju zrna veća od 0.2 mm, dok se u kasnijem taloženju pojavljuje sve manje prosječno zrno. Opisana litološka obilježja generiraju hidrauličku anizotropiju na razini laboratorijskoga mjerila i opću heterogenost koja može izazivati učinke anizotropije.

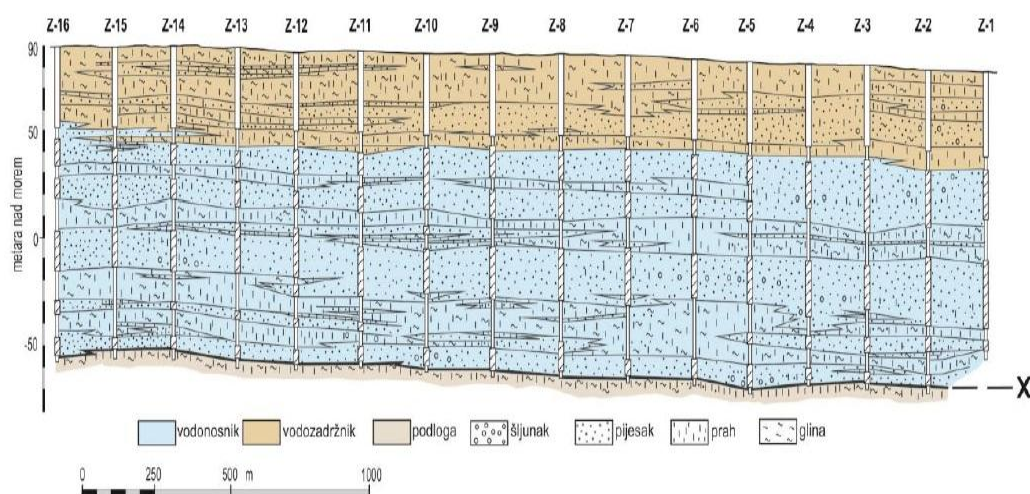
Na Slici 2-3. je prikazan regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga istraživanog područja prema Urumović i dr. (1978 a). Prikazana su dva kontrastna dijela u izmjeni sitnoklastičnih i gruboklastičnih sedimenata. Granica između njih je označena uvjetnim markerom Q'. U donjem dijelu, plioleistocenske i donjopleistocenske starosti, prevladava konsolidiran materijal s niskim udjelom propusnih gruboklastičnih slojeva. Mineralizacija vode u slojevima je povišena. Naslage u gornjem dijelu, srednjopleistocenske i gornjopleistocenske starosti, imaju veći stupanj konsolidacije. Sloj je okarakteriziran visokim udjelom propusnih, gruboklastičnih slojeva i sadržajem slatke vode.



Slika 2-3. Regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga istraživanog područja (prema Urumović i dr., 1978 a)

Regionalni marker Q' moguće je pratiti u svim depresijama Panonskog dijela Hrvatske. Taj horizont se u litološkom smislu pojavljuje s kontrastnim razvitkom kvartarnih naslaga, a ne kao jedinstven sloj. Zaključeno je da bi marker Q' mogao zalijegati i ispod gruboklastičnog razvitka donjopleistocenskih naslaga. Nagli prijelaz u slijedu naslaga iznad markera Q' ukazuje na promjenu paleoklimatskih uvjeta što je za posljedicu imalo regionalne promjene u kvaliteti taloženog materijala. U širem području Osijeka, debljina kvartarnih naslaga iznad markera Q' kreće se od oko 100 m kod Brijesta, do preko 300 m u predjelu Madarinačke depresije.

U naslagama iznad markera Q' prisutan je još jedan kontrast u litološkom razvitku. Na regionalnom korelacijskom profilu označen je markerom X (Slika 2-4). Iznad njega slijede najgrublje taložine u cijeloj regiji istočnog dijela Dravske depresije. Naslage iznad markera X karakterizira pojava sitnih valutica šljunka. Ta pojava ukazuje na snažnu transgresiju širokih razmjera koja je u inundacijskom dijelu Podunavlja, utjecala na taloženje naslaga šljunka debelih do 50 m. U prilog toj pretpostavci ide činjenica da je u sloju pijeska, jugoistočno od grada Osijeka, nabušeni oblutci gnajs-granitnih stijena promjera do 120 mm. Pojava sitnih valutica šljunka registrirana je i na brojnim drugim bušotinama, a i elektrokarotazne korelacije potvrđuje regionalni karakter pojave koja je rezultirala s taloženjem najgrubljih taložina ovih predjela (Urumović, 1982).



Slika 2-4. Litološki profil kvartarnih naslaga zahvaćenih zdencima crpilišta Vinogradi (prema Urumović i dr., 2011)

3. Hidrogeološke značajke porječja rijeke Drave

Na obnavljanje podzemnih voda utječu vertikalni faktori bilance. Površinski tokovi predstavljaju najnižu piezometarsku razinu na istraživanom području i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemne vode u prirodnim uvjetima ukoliko isključimo povremene inverzije u inundacijskom području Drave i Dunava tijekom visokih vodostaja. Obnova vodonosnika kaptiranog na samom crpilištu Vinogradi je uvjetovana procjeđivanjem iz gornjeg vodonosnog sloja kroz polupropusni međusloj u krovini vodonosnika. Pokrovne naslage se napajaju infiltracijom padalina, a ona iznosi 14 do 16% visine godišnjih oborina. Pražnjenje vodonosnog sustava uvjetovano je evapotranspiracijom, eksploatacijom te drenažom duž površinske hidrografske mreže.

Vrijednosti hidrauličkih parametara su određene na osnovu brojnih istraživanja pri kojima su se koristile različite analitičke i numeričke metode. Njihove prosječne vrijednosti su prikazane u Tablici 3-1. (Urumović i dr., 2011).

Tablica 3-1 Prosječne vrijednosti hidrauličkih parametara prema Urumović i dr., 2011.

Oznaka	Značenje	Vrijednost	Mjerna jedinica
<i>M</i>	debljina vodonosnika	60 – 80	<i>m</i>
<i>K</i>	hidraulička vodljivost vodonosnika	12 – 19	<i>m/dan</i>
<i>k'</i>	vertikalna hidraulička vodljivost	$(1,5 - 5) * 10^{-3}$	<i>m/dan</i>
<i>S</i>	koeficijent uskladištenja	$(0,5 - 2) * 10^{-3}$	—
<i>n</i>	efektivna poroznost pijeska	0,2	—
<i>n'</i>	prosječna efektivna poroznost naslaga u krovini kaptiranog vodonosnika	0,03 – 0,16	—

4. Crpilište Vinogradi

4.1 Istraživanje crpilišta Vinogradi

Hidrogeološka istraživanja za potrebe vodoopskrbe grada Osijeka izvedena su u dvije etape.

Urumović i Mađarac (1978 b) započinju prvu etapu s ciljem određivanja makrolokacije crpilišta. Načinjeno je 10 istražno-piezometarskih bušotina (OP-1 do OP-10) od 60 m do 200 m dubine. Interpretacijom prikupljenih i već postojećih podataka donesen je zaključak o realnoj mogućnosti opskrbe grada Osijeka podzemnim vodama. Daljnja istraživanja su provedena na području između Osijeka, Čepina i Josipovca, te lijeve i desne obale Drave uzvodno od Osijeka. Na temelju dobivenih podataka lokalitet Vinogradi je određen kao najpogodnija makrolokacija crpilišta. Predviđena izdašnost 18 zdenaca koji bi se izgradili iznosila bi oko 700 l/s.

Druga etapa istraživanja je provedena s ciljem provedbe detaljnog istraživanja na lokalitetu crpilišta Vinogradi i sagledavanja prostora pogodnih za lokacije novih crpilišta potrebnih u dugoročnom razvoju grada i regije. Ova etapa je započeta 1979. godine a završena 1980. godine (Urumović i Mađarac, 1981). Nakon provedenih istraživanja ustanovljeno je da nije prikladno zahvatiti najplići sloj zbog zaštite zahvaćenog vodonosnika i djelomičnog odvodnjavanja tog sloja u eksploataciji. Kod zacjevljivanja eksploatacijskih zdenaca zahvaćeni su slojevi ispod 40 m dubine.

4.2 Izgrađeno stanje crpilišta Vinogradi

Eksploatacijski zdenci B-1 do B-18 su izgrađeni u razdoblju od 1980. do 1986. godine. Zahvaćeni su vodonosni slojevi u dubinskom intervalu od 40 m do 176 m. Ukupna debljina slojeva zahvaćenih zdencima kreće se od 56,8 m do 78,7 m.

Na svim je zdencima načinjeno pokusno crpljenje u koracima, na temelju čega su određeni parametri zdenaca i lokalne vrijednosti srednje hidrauličke vodljivosti. Crpna količina svih zdenaca standardizirana je na 40 l/s. Ugrađene su crpke optimalnog rada pri takvoj izdašnosti i uz predviđene gubitke u cjevovodu. Korekcija crpljenja moguća je preko automatskog ventila u zahvatnoj građevini. Maksimalna satna izdašnost crpilišta može dosežati do 720 l/s. Na temelju provedenih istraživanja definirano je da srednja mjesečna izdašnost crpilišta ne bi smjela prelazila 600 l/s, dok bi dnevna kolebanja izdašnosti ovisila o tekućoj potrošnji, te radu uređaja za kondicioniranje i distribuciju vode.

Crpilište Vinogradi uključeno je u pogon 25. srpnja 1984. godine u 14 sati i 48 minuta, čime je započeto korištenje podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe grada Osijeka.

4.3 Praćenje rada crpilišta Vinogradi

Rad crpilišta Vinogradi kontinuirano se prati pomoću sustava za upravljanje i kontrolu crpilišta. Sustav čini modularno strukturni sastav za automatsko prikupljanje podataka o crpilištu, njihovu obradu s ciljem određivanja aktualnog stanja, predviđanje budućeg ponašanja podzemnih voda u različitim uvjetima, te automatsku kontrolu i upravljanje radom crpilišta. Sustav se dijeli na informacijski i kontrolni podsustav.

Informacijski podsustav obuhvaća sustav za prikupljanje podataka o podzemnim vodama (piezometarske razine, crpne količine, fizikalno-kemijske karakteristike), te sustav za obradu podataka s ciljem analize trenutnog stanja. U opažачku mrežu je uključeno svih 18 zdenaca i 57 piezometarskih bušotina, na 22 lokacije.

Kontrolni podsustav ima zadatak mjerenja razina podzemne vode, mjerenja protoka na zdencima, registraciju sati rada crpke na zdencima i mjerenje ukupno iscrpljene vode. Mjerenje razine vode izvodi se automatskim mjeračima koji su ugrađeni u svih 18 zdenaca i 3 piezometra. Mjerač se sastoji od mjerne sonde koja je spuštена u zdenac i elektronskog uređaja. Mjerači protoka na zdencima sastoje se od elektromagnetskog sklopa koji je montiran na cijevi i elektronskog dijela sa pokazivačem protoka, koji su smješteni u energetske kućice zdenca. Registratori sati rada crpke na zdencima služe za određivanje trenutaka uključivanja i isključivanja pojedinog zdenca.

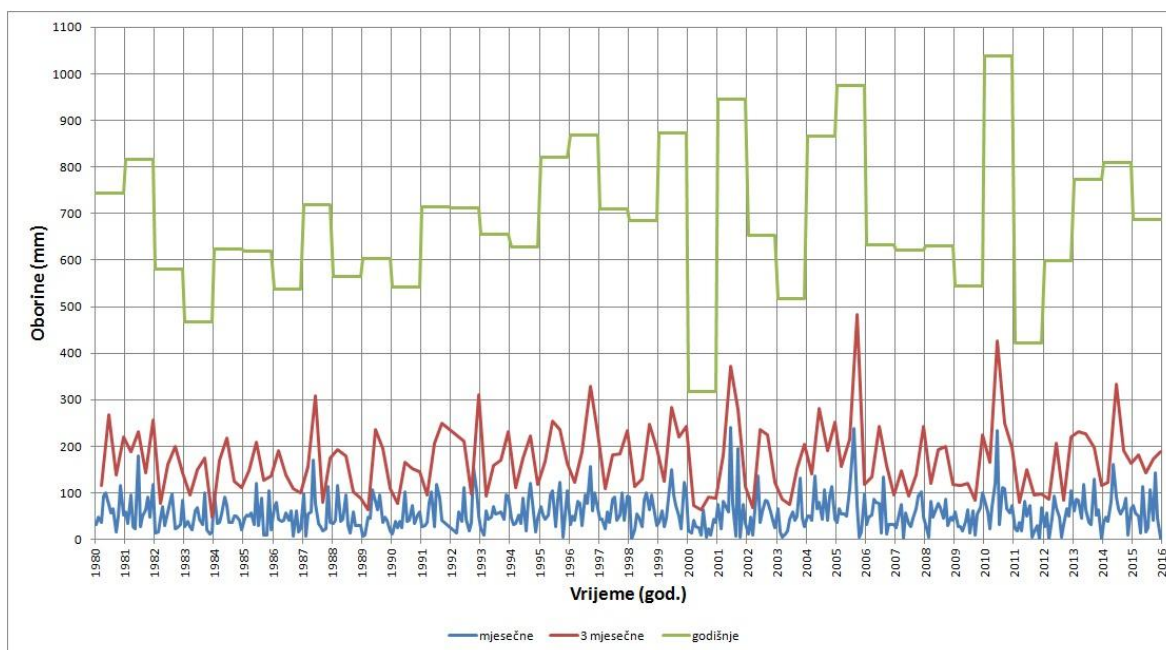
5. Oborine

Na području grada Osijeka kontinentalne klimatske prilike su dosta homogene. Prema podacima DHMZ-a izraženim u mm (Tablica 5-1) prosječna godišnja količina oborina u razdoblju od 1980. do 2015. godine iznosi 681 mm.

Tablica 5-1. Mjesečne oborine na meteorološkoj postaji u Osijek za razdoblje 1980-2015. godine (podaci DHMZ-a)

GODINA	MJESEC											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980	31,7	47,3	36,7	92,5	100	76	58	65,7	15,7	51,3	116,1	53,4
1981	58,2	33,7	96,2	28,2	22,3	180,2	28,3	49,6	64,7	90,9	47,1	117,7
1982	14,6	15,6	46,2	71	30,6	59,4	79,5	97,4	23,1	26,1	32,7	83,6
1983	28,1	39,8	27,2	19,6	62,3	67,2	42,5	32,4	100	20,3	10,6	16,9
1984	99,9	33,9	36,5	54,7	89,9	73,7	37,4	36,2	50,3	51,1	40,5	19,7
1985	45,8	51,9	49,7	56,3	32,6	119,5	29,7	88,2	8,8	9,6	105	21,6
1986	67,2	79,3	43,3	38,3	42,1	57,8	40,7	60,6	6,9	60,4	16,1	23,6
1987	97,2	6,2	54,3	59,9	170,6	77,6	33,4	27,4	18,3	23,7	112,8	37,6
1988	35,4	41,6	116,4	39,7	43,6	96,3	29,4	14,6	58,4	30,7	28,7	30
1989	6,4	9,2	48,3	46,1	106	83	63,7	95,6	35,7	48,6	42,2	18
1990	11,8	39,4	25,8	38,4	26,2	101,4	38,7	42	72,3	33,7	52,7	58,5
1991	28,6	30	37,3	78,8	102,1	26,4	119,2	89,2	40,8	49,63	60,43	51,37
1992	43,84	35,29	13	59	39,7	112,4	42,3	18,9	36,4	155,3	105,1	50,2
1993	22,7	8,9	61,6	42,6	47,7	69,5	55,2	56,7	58,8	43,1	95,5	92,5
1994	45,4	31,7	34,8	52,4	34,6	88,2	19	83,6	120,3	57,5	16,1	45,1
1995	70,9	52,7	44,5	52,2	96,4	105,5	26,7	85,6	123,2	5,8	53,6	104,4
1996	31	50,5	41,6	81,9	78	29,6	94,9	77,1	157,1	61,4	99	66,7
1997	43,5	42,6	22,8	58,7	37,7	85,8	91,2	40,9	52,9	100	42	92,4
1998	90,7	0,7	21,2	53,6	48,7	26,4	83,9	99,4	64,4	96,5	68,7	29,8
1999	35,7	60,6	28,6	45,2	89,1	149,8	95,6	73,7	50,9	22,1	123,7	98,1
2000	17,5	14,8	41	27,5	26,3	9,6	62,8	5,3	23	10,1	42,4	36,7
2001	74,6	22,9	83	72	60,1	239,5	77,1	7,1	195,2	5,1	74	33,9
2002	11,1	48,2	10,1	63,8	135,4	36,6	59,3	84,3	81,6	58,8	40,2	24,4
2003	66,4	15,6	4,6	11,9	18,4	43,9	59,8	41,8	50,7	132	44,8	26,6
2004	50,4	50	40,6	136,6	65,1	80	43,5	106,5	41,7	93,9	114,5	42,6
2005	35,5	66,2	54	55,3	50,5	110,2	170,8	237,6	74,6	5,9	15,9	97,2
2006	32,9	48,3	52,5	86,8	78,6	78	14,6	133,5	10,9	31,1	32,3	32,6
2007	25,3	46,5	76	2,9	56,1	33,3	27,4	45	65,2	92,5	102,7	48
2008	33,1	4,7	82,4	48,8	66,9	76,3	67,6	46,2	86,3	29,8	47,9	40,8
2009	60,3	28,6	26,5	18,7	39,4	62,8	13,8	60,6	10	55,3	67,8	100,8
2010	83,9	58,6	22,2	71,1	120,8	234	31,5	110,8	108,4	67,1	56,3	73,5
2011	23,6	18,4	37,1	19,4	81,2	49,9	73,9	4,6	15,9	28,7	0,4	69,1
2012	28	58,1	0,9	45,5	93,7	67,9	47,8	4	32,3	66,5	50,2	104,3
2013	60,8	85,8	84,3	44,9	119	63,2	36,5	32,9	129	52,3	63,8	0
2014	36	48	39,4	81,3	161,4	91	66,4	54,3	68,9	87,9	8,8	66
2015	73,6	57,1	50,5	12,9	113,4	17,1	25,6	105,8	41,1	142,1	45,1	1,9

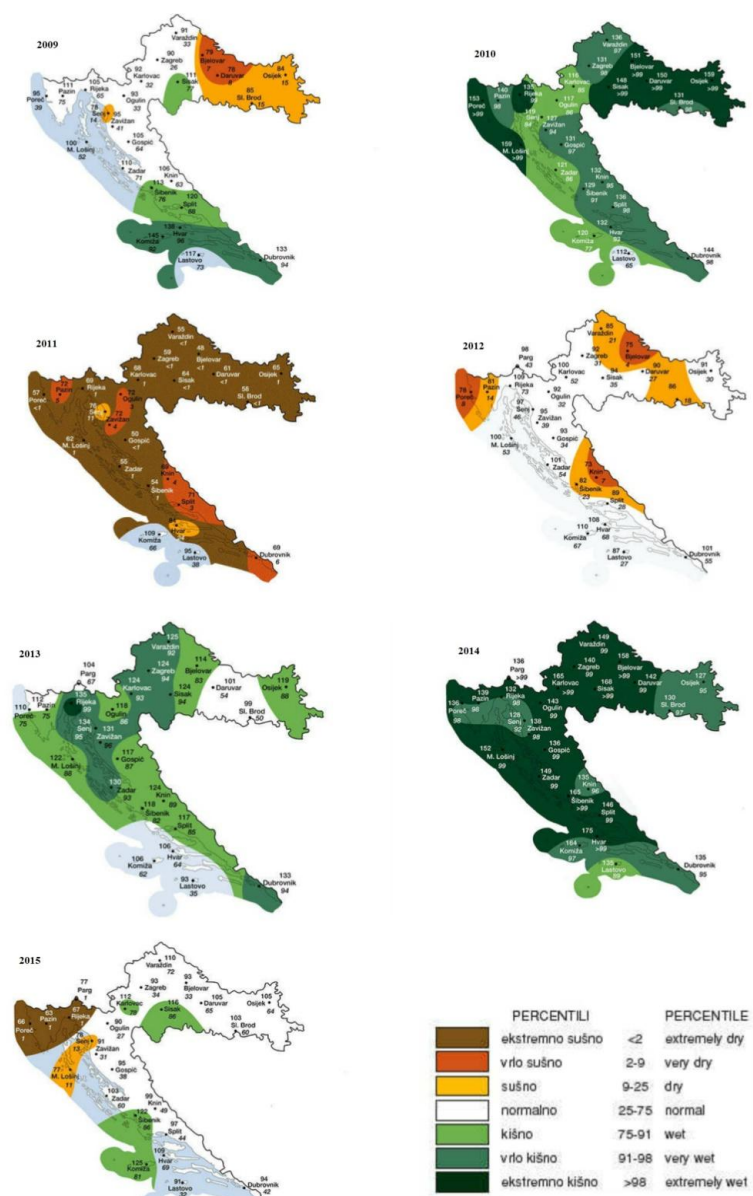
Zabilježeni su i ekstremi kako u smislu minimalne godišnje oborine u 2000. godini koja je iznosila 317 mm, tako i u vidu zabilježene ekstremne količine oborine mjerene u Osijeku za promatrano razdoblje koja je iznosila 1038 mm u 2010. godini. Za analizirano razdoblje od 2005. do 2015. godine prosječna oborina iznosi 703 mm. Na ovaj podatak je uvelike utjecao kako već spomenuti ekstrem u 2010. godini, tako i značajno velika količina oborina tijekom 2005. i 2014 godine (Slika 5-1).



Slika 5-1. Mjesečne, tromjesečne i godišnje padaline na meteorološkoj postaji Osijek

U oborinskom režimu ovog područja ističu se dva maksimuma. Prvi maksimum, povezan s utjecajem kontinentalnog pluviometrijskoga režima, javlja se koncem ljeta, dok se drugi maksimum, nastao pod utjecajem maritimnog pluviometrijskog režima, javlja u jesen. Drugi maksimum u prosjeku donosi nešto manji iznos oborina, ali veći broj kišnih dana. Za mjesečne oborine općenito su karakteristična velika odstupanja od prosječnih vrijednosti (Tablica 5-1).

Mjesečne, tromjesečne i godišnje srednje vrijednosti oborine se uspoređuju s višegodišnjim srednjacima za razdoblje od 1961. do 1990. godine kako bi se ocijenila odstupanja. Na Slici 5-2. je prikazano odstupanje količine oborina za pojedinačne godine u odnosu na prosječne količine oborina u razdoblju od siječnja 2009. godine do prosinca 2015. godine. Vidljive su značajne oscilacije u količinama oborina za pojedine godine. Tako su tijekom 2011. godine zabilježene ekstremno niže količine oborina od prosjeka, dok su tijekom 2010. i 2014. godine količine oborina bile ekstremno više od prosjeka. Ocjena odstupanja količine oborina potvrđuje spomenuti ekstrem u 2010. godini kad su u cijeloj Hrvatskoj oborine bile više od prosjeka. Područje grada Osijeka nalazi se u kategoriji ekstremno kišno.

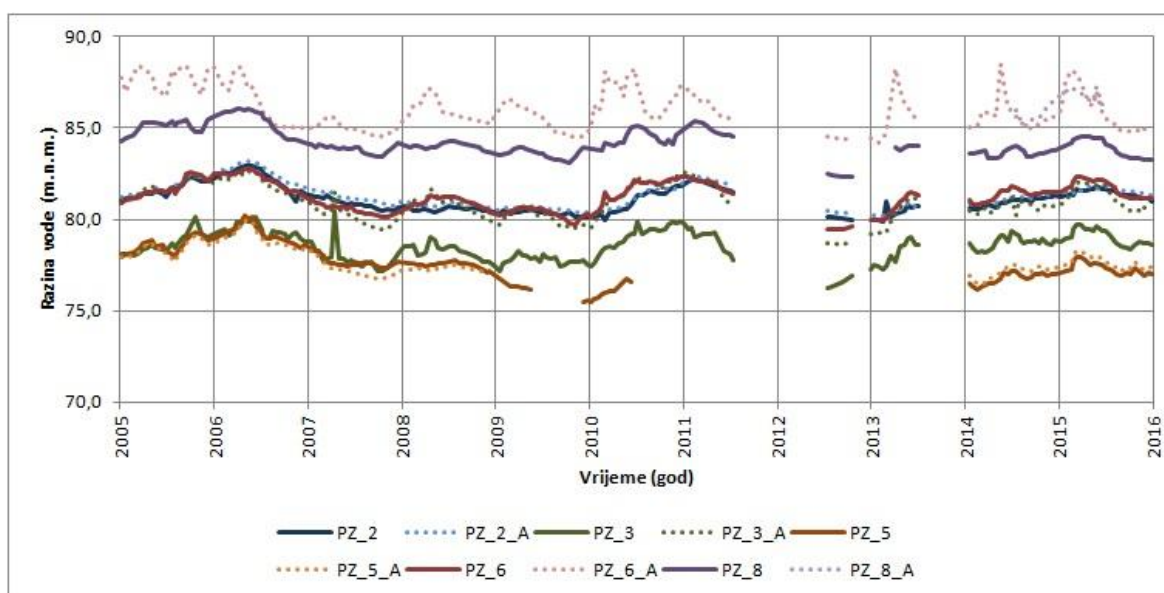


Slika 5-2. Godišnje odstupanje količine oborine u razdoblju 2009- 2015 (<http://meteo.hr/index.php>, 2016)

U ovom poglavlju analiziran je utjecaj oborina na kolebanje razina podzemne vode s obzirom na udaljenost opažачkih objekata od linije eksploatacijskih zdenaca.

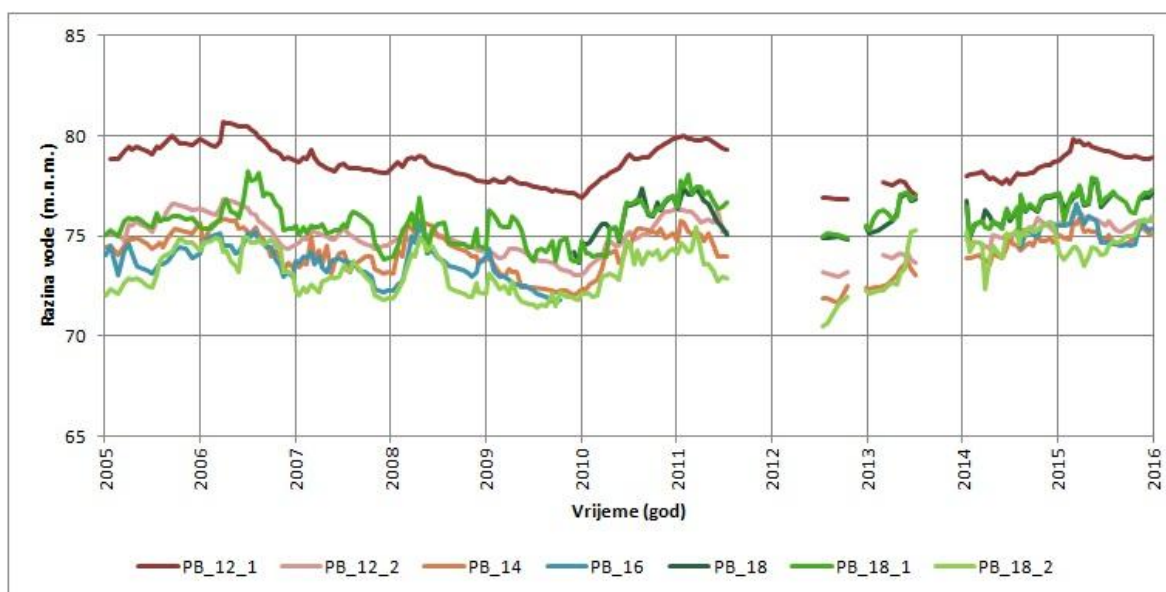
Rezultati su prikazani kao nivogrami karakterističnih aktivnih piezometara, odnosno piezometarskih gnijezda koji pokazuju razvitak sniženja u vodonosnoj sredini bez utjecaja sniženja razina uzrokovanih padom specifične izdašnosti zdenaca.

Slika 5-3. prikazuje nivograme aktivnih piezometara PZ-2, PZ-3, PZ-5, PZ-6 i PZ-8. Piezometar PZ-8 je najudaljeniji aktivni piezometar koji se opaža. Nalazi se na udaljenosti oko 5 km od središta linije zdenaca. Piezometri PZ-2, PZ-3, PZ-5, PZ-6 nalaze se na udaljenostima od oko 1 do 2 km od zone zdenaca. U razdoblju od 2005. do 2015. godine nivogram prikazuje sezonska kolebanja razina podzemne vode kako u izvornom sloju, tako i u slojevima zahvaćenim zdencima na crpilištu. Osim sezonskih kolebanja uočava se porast razina podzemne vode tijekom 2005. godine pa sve do polovice 2006. godine. Porast razina podzemne vode u navedenom razdoblju je u skladu sa zabilježenim visokim količinama oborina tijekom 2005. godine. Nešto manji porast razina podzemnih voda zabilježen je u drugoj polovici 2010. godine što je u skladu s ekstremno visokim količinama oborina tijekom te godine, te u prvoj polovici 2015. godine što je u skladu s zabilježenim visokim količinama oborina tijekom 2014. godine (Tablica 5-1).



Slika 5-3. Kolebanje razina podzemne vode u udaljenim piezometrima

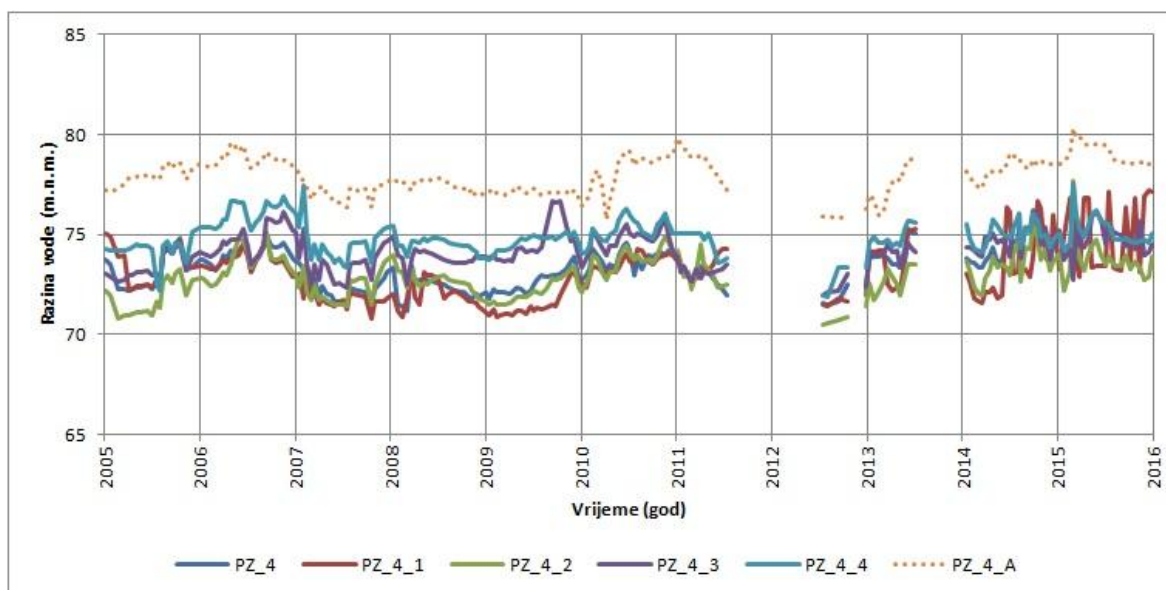
Na Slici 5-4. prikazan je nivogram aktivnih piezometarskih gnijezda PB-12 i PB-18 te usamljenih piezometara PB-14 i PB-16. Piezometri su smješteni u neposrednoj blizini eksploatacijskih zdenaca, na udaljenosti od oko 100 do 500 m. Nakon dužeg prekida, piezometar PB-18 se opet opaža od kraja 2009. godine. Nivogram piezometara u neposrednom okruženju crpilišta prikazuje vrlo sličan odraz, nastao kombinacijom utjecaja crpilišta i infiltracije oborina kao mehanizma obnavljanja vodonosnika. Intenziteti tih odraza su različiti za pojedine piezometre ovisno o njihovoj dubini po profilu vodonosnika.



Slika 5-4. Kolebanje razine podzemne vode u piezometrima udaljenim od oko 100 do 500m od zdenaca

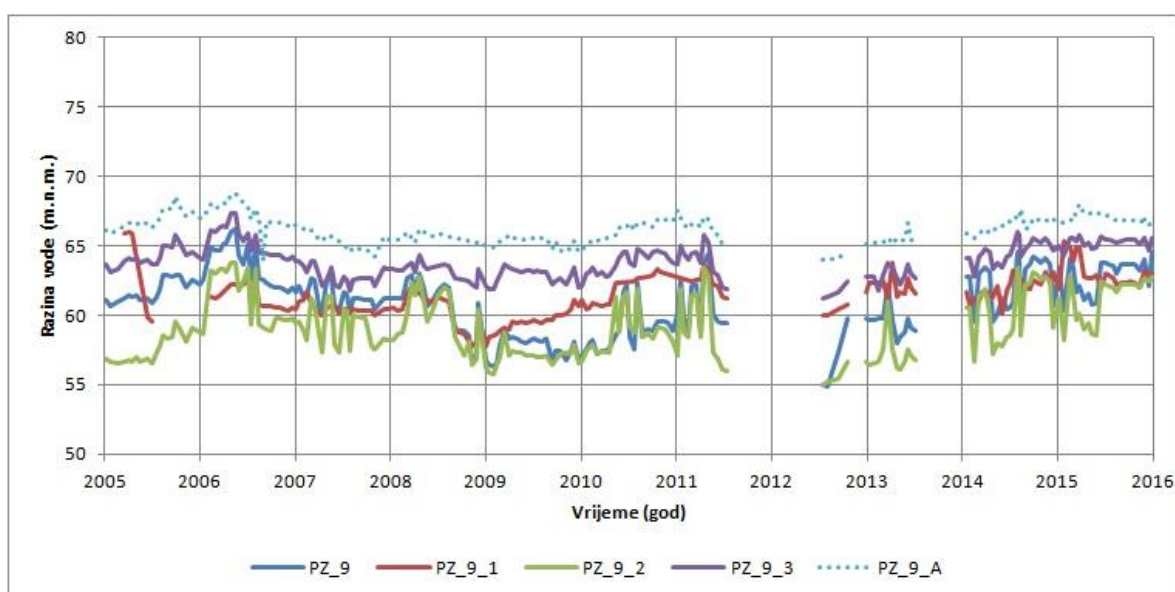
Analizom nivograma smještenih neposredno uz eksploatacijske zdence može se zaključiti da porast razine u izvornom sloju, kao rezultat poniranja oborina, ima veću amplitudu od amplitude kolebanja razine vode u vodonosniku, te da maksimumi vodonosnika vremenski zaostaju 1 do 2 mjeseca za maksimumima u izvornom sloju.

Na Slici 5-5. je prikazan nivogram piezometarskog gnijezda PZ-4. Piezometarsko gnijezdo je smješteno između eksploatacijskih zdenaca B-14 i Z-15. Razina podzemne vode u izvornom sloju, kojeg zahvaća piezometar PZ-4-A, pokazuje kolebanje u skladu sa zabilježenim količinama oborina (tablica 5-1). U piezometrima PZ-4, PZ-4-1, PZ-4-2 i PZ-4-3, PZ-4-4 koji zahvaćaju različite slojeve vodonosnika zahvaćene eksploatacijom, zapažaju se kolebanja razine podzemne vode koja ovise i o eksploatacijskim crpnim količinama.



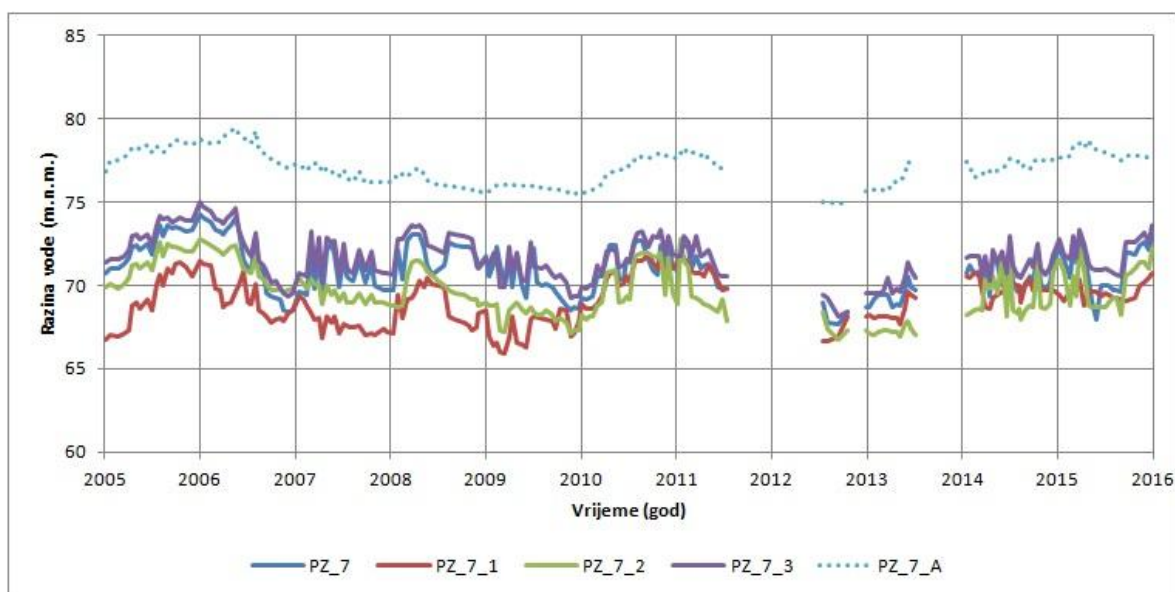
Slika 5-5. Kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-4 smještenom između zdenaca B-14 i Z-15

Slika 5-6. prikazuje kolebanja razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-9. Piezometarsko gnijezdo je smješteno pokraj eksploatacijskog zdenca Z-11. Piezometrom PZ-9-A je zahvaćen izvorni sloj, te razina podzemne vode pokazuje kolebanje u skladu sa zabilježenim količinama oborina na ovom području (tablica 5-1). Piezometri PZ-9, PZ-9-1, PZ-9-2 i PZ-9-3 zahvaćaju različite slojeve vodonosnika po dubini. Budući da se radi o slojevima zahvaćenim eksploatacijom, kolebanja razine podzemne vode ovise i o eksploatacijskim crpnim količinama.



Slika 5-6. Kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-9 smještenom pokraj zdenca Z-11

Slika 5-7. prikazuje kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-7, smještenom oko 20 m južno od zdenca Z-7. U izvornom sloju zahvaćenom piezometrom PZ-7-A kolebanja podzemne vode ovise o količini oborina koje se infiltriraju, dok u dubljim slojevima zahvaćenim piezometrima PZ-7, PZ-7-1, PZ-7-2 i PZ-7-3, na razinu podzemne vode utječu i eksploatacijske crpne količine.



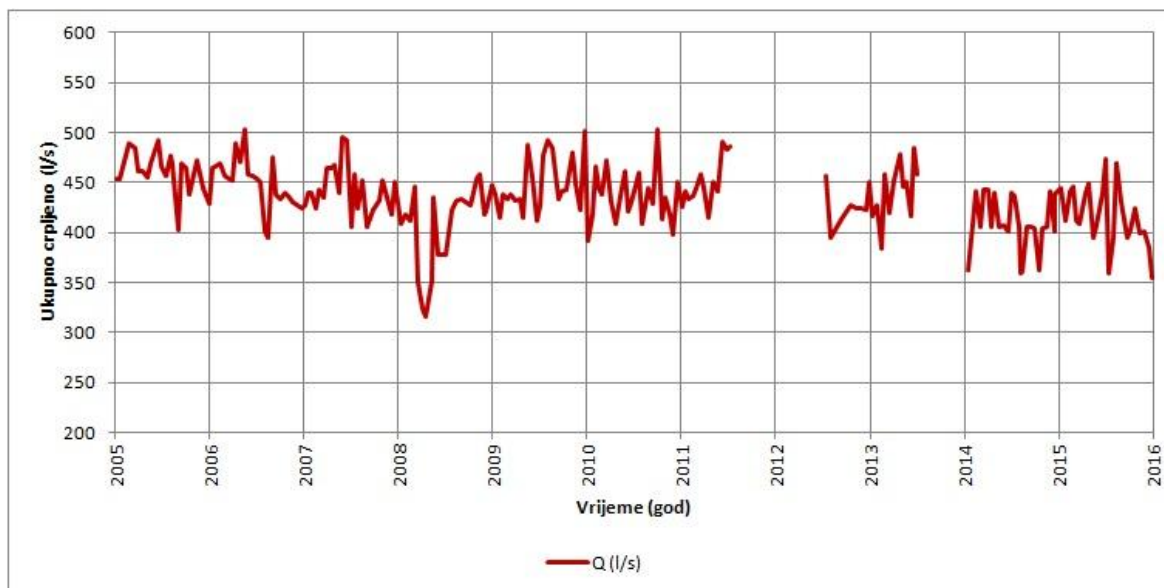
Slika 5-7. Kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-7 smještenom oko 20 m južno od zdenca Z-7

6. Crpne količine

Na crpilištu Vinogradi provode se kontinuirana registriranja crpnih količina. Crpne količine registriraju se na pojedinim zdencima i sumarno za cjelokupno crpilište. Sumarne količine za cijelo crpilište Vinogradi se mjere mjeračem protoka na ulazu u pogon za preradu vode. Crpne količine pojedinih zdenaca procjenjuju se mjeračima protoka. Registrira se veliki broj podataka, kako za dnevno, tako za mjesečno ili godišnje razdoblje.

Režim rada zdenaca zadan je unaprijed, prije uključivanja crpilišta Vinogradi, te je predviđen stalni rad rubnih zdenaca uz povremeno uključivanje središnjih zdenaca prema tekućoj potrošnji. Maksimalna srednja mjesečna izdašnost pojedinih zdenca iznosila je 40 l/s kod rubnih zdenaca koji su stalno radili, dok je kod središnjih zdenaca bila vrlo niska zbog kratkotrajnog uključivanja ovih zdenaca. U kasnijem razdoblju je uključivanje pojedinih zdenaca bilo uvjetovano njihovom kondicijom, a njihova izdašnost je upravljana preko frekventnoga pretvarača.

U provedenoj analizi su korišteni podaci koji se registriraju u okviru monitoringa, odnosno ručnim opažanjem razina i trenutnih crpnih količina. Ovi podaci daju vrlo pouzdanu ocjenu rada crpilišta Vinogradi. Analizom je obuhvaćeno razdoblje od siječnja 2005. godine do prosinca 2015. godine (Slika 6-1). Podaci o crpnim količinama u razdoblju od siječnja 2005. godine do srpnja 2011. godine prikazuju relativno ravnomjerno crpljenje podzemne vode. Crpne količine su oko 450 l/s. Ukupno kolebanje odvija u rasponu od 400 do 500 l/s uz značajno smanjene crpne količine tijekom ožujka, travnja i svibnja 2008. godine, koja se snižava ispod 350 l/s. Od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine smanjene su crpne količine na oko 400 l/s. Ukupno kolebanje se odvija u rasponu od 350 do 450 l/s uz intenzivnija crpljenja u srpnju i kolovozu 2015. godine. Nedostaju podaci o crpnim količinama za razdoblje od srpnja 2011. godine do lipnja 2012. godine, te od srpnja 2013. godine do siječnja 2014. godine.

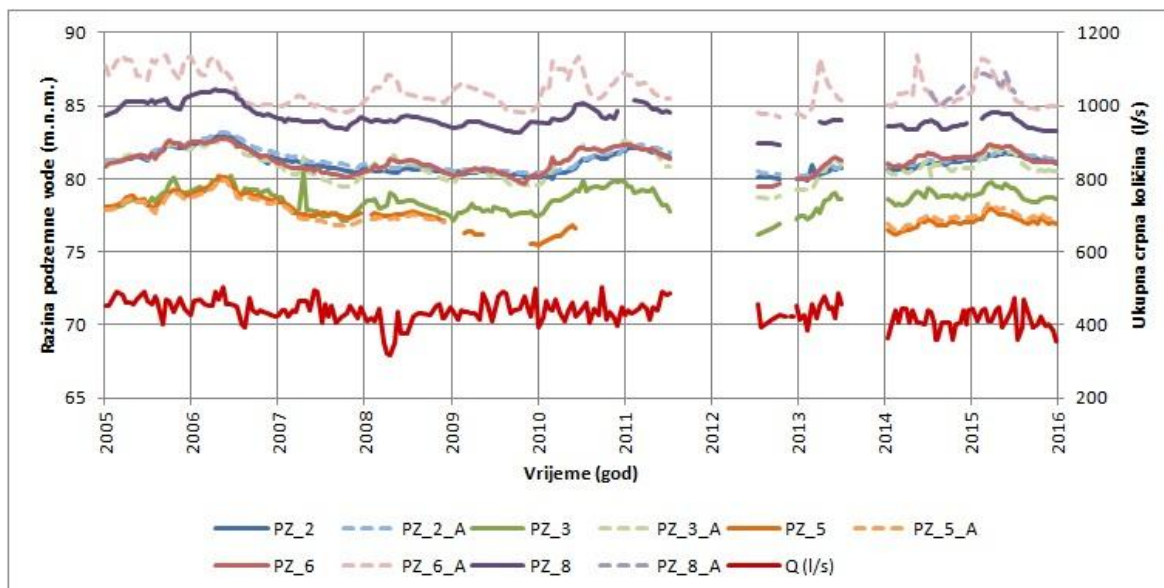


Slika 6-1. Prikaz ukupnih crpnih količina prema opažanjima u okviru monitoringa

Kolebanja crpnih količina imala su utjecaj na stanje razina podzemne vode u zahvaćenom vodonosnom sustavu. U nastavku su prikazani nivogrami karakterističnih aktivnih piezometara odnosno piezometarskih gnijezda koji prikazuju razvitak sniženja u vodonosnom sustavu, izazvan kontinuiranim crpljenjem, u ovisnosti o položaju pojedinih opažaćkih objekata u odnosu na liniju eksploatacijskih zdenaca.

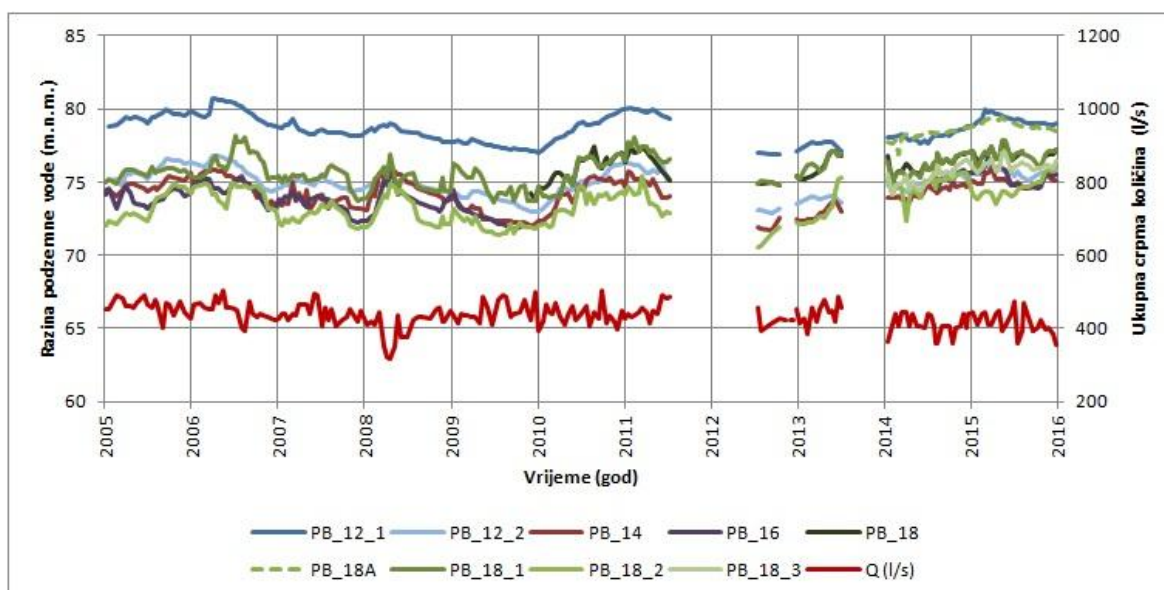
Na temelju ranijih analiza razina podzemnih voda u opažaćkim objektima crpilišta Vinogradi, donesen je zaključak da na razinu podzemnih voda, osim oborina i crpnih količina te udaljenosti od eksploatacijskih zdenaca, utječe i pojava starenja zdenaca, odnosno zatvaranja zdenačkih sita po cijelom profilu zacijevljenja.

Na Slici 6-2. su prikazani nivogrami udaljenih aktivnih piezometara PZ-2, PZ-3, PZ-5 i PZ-6, koji su udaljeni od 1 do 2 km od linije zdenaca, te aktivnog piezometra PZ-8, udaljenog 5 km od linije zdenaca. U razdoblju od 2005. do 2015. godine nivogram prikazuje kolebanja razine podzemne vode uzrokovana vertikalnim parametrima vodne bilance. Režim rada zdenca gotovo nema utjecaj na razinu podzemne vode, kako u izvornom sloju, tako i u slojevima zahvaćenim zdencima na crpilištu.



Slika 6-2. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometrima na najvećoj udaljenosti od linije zdenaca

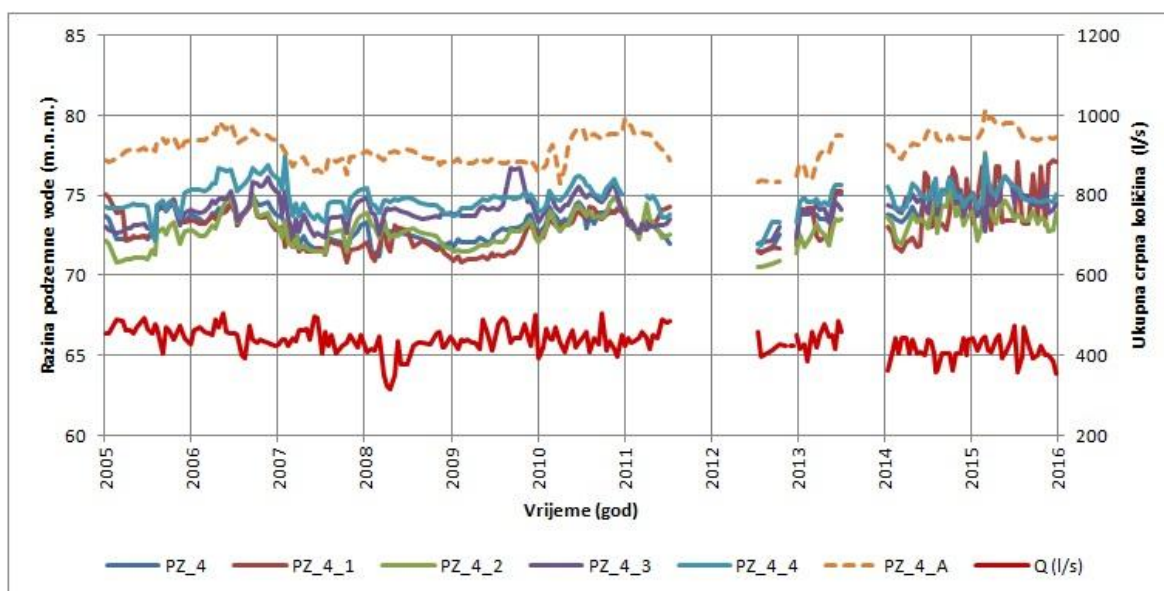
Na Slici 6-3. prikazan je nivogram aktivnih piezometarskih gnijezda PB-12 i PB-18 te usamljenih piezometara PB-14 i PB-16 udaljenih od oko 100 do 500 m od linije eksploatacijskih zdenaca. Nivogram piezometara u neposrednom okružju crpilišta prikazuje odraz nastao kombinacijom utjecaja crpilišta i infiltracije oborina kao mehanizma obnavljanja vodonosnika. Intenziteti tih odraza su različiti za pojedine piezometre ovisno o njihovoj dubini po profilu vodonosnika.



Slika 6-3. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometrima udaljenim od oko 100 do 500m od zdenaca

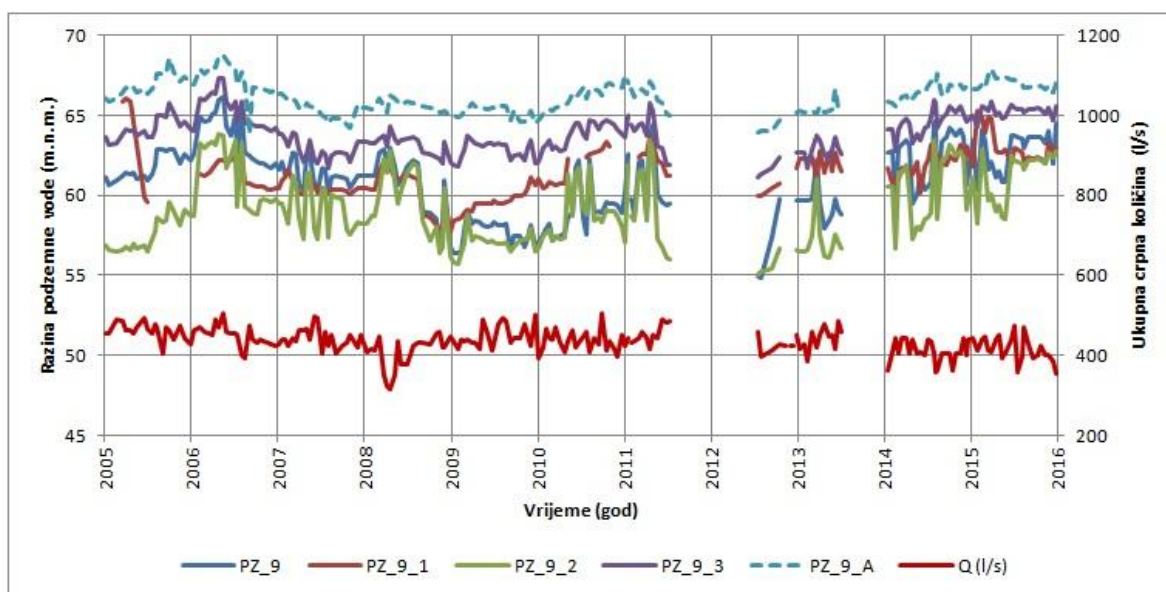
U piezometrima smještenim neposredno uz eksploatacijske zdence zabilježeno je snažnije kolebanje razine podzemne vode izazvano jakim utjecajem režima rada zdenaca. No, unatoč dominantnom utjecaju režima rada zdenaca na razine podzemne vode, vidljivi su utjecaji ekstremno visokih količina oborina tijekom 2005., 2010. i 2014. godine te ekstremno niskih količina oborina tijekom 2011. godine.

Piezometar PZ-4 smješten je između eksploatacijskih zdenaca B-14 i Z-15. Zacijevljen je tako da se mjeri razina podzemne vode u izvornom sloju (PZ-4-A), razina vode u pojedinim slojevima vodonosnog sustava (PZ-4-1, PZ-4-2, PZ-4-3 i PZ-4-4, idući od donjih prema gornjim slojevima) te prosječna razina podzemne vode (PZ-4). Na Slici 6-4. prikazano je da razina podzemne vode u izvornom sloju, zahvaćenom piezometrom PZ-4-A, ovisi o utjecaju sezonskih kolebanja dok je u dubljim slojevima zahvaćenim eksploatacijom, osim utjecaja sezonskih kolebanja, značajan i utjecaj crpnih količina eksploatacijskih zdenaca na razine podzemne vode. Osim crpnih količina, na razinu podzemne vode, odnosno na njezino snižavanje utječe i zatvaranje zdenačkog sita. Primjer su slojevi zahvaćeni piezometrima PZ-4-1 i PZ-4-2.



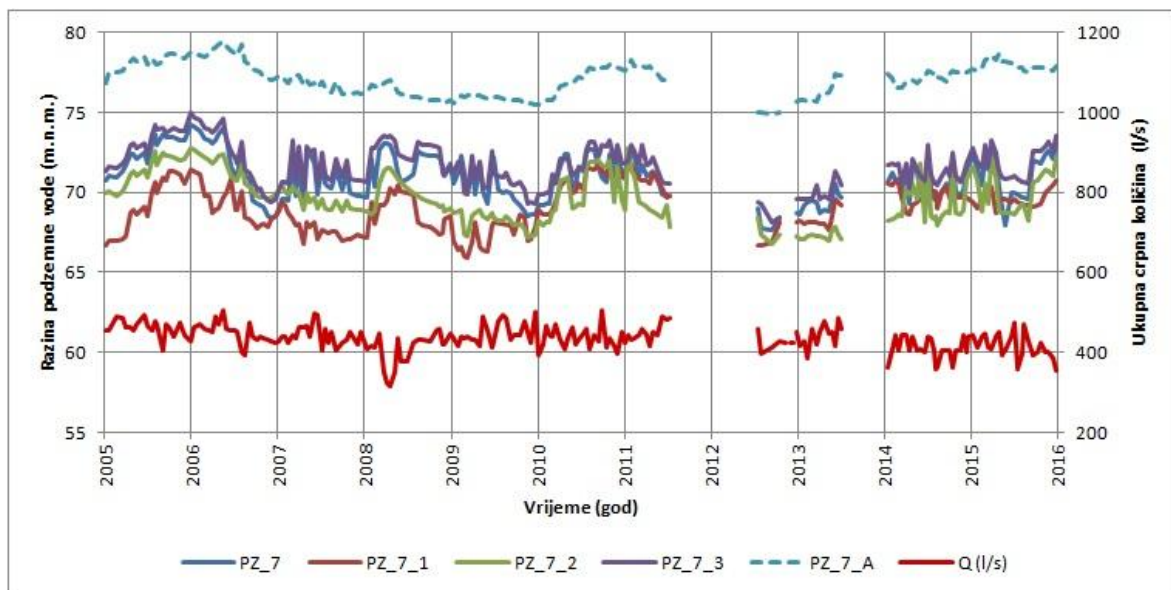
Slika 6-4. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-4

Piezometar PZ-9 smješten je pokraj eksploatacijskog zdenca Z-11. Zacijevljen je tako da se mjeri razina podzemne vode u izvornom sloju (PZ-9-A), koja je pod utjecajem sezonskih kolebanja. Razina vode u pojedinim dubljim slojevima vodonosnog sustava (PZ-9-1, PZ-9-2 i PZ-9-3, idući od donjih prema gornjim slojevima) ovisi i o eksploatacijskim crpnim količinama. Zatvaranje zdenačkih sita utječe na smanjenje razina podzemne vode u pojedinim intervalima. Primjer su slojevi zahvaćeni piezometrima PZ-9-1 i PZ-9-2 (Slika 6-5). Piezometar PZ-9 mjeri prosječnu razinu podzemne vode.



Slika 6-5. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-9

Na Slici 6-6. je prikazano piezometarsko gnijezdo PZ-7 smješteno 20 m južno od zdenca Z-7. Kao i kod već opisanih piezometara u neposrednoj blizini zdenaca, Z-4 i PZ-9, razine podzemne vode u zahvaćenim vodonosnim slojevima (PZ-7-1, PZ-7-2 i PZ-7-3) osim o količinama oborina ovise i o eksploatacijskim crpnim količinama. Nivogram kontinuirano prati eksploatacijske crpne količine, uz navedeno odstupanje tijekom ekstremno kišnih i sušnih godina.



Slika 6-6. Ukupna crpna količina i kolebanje razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-7

7. Zaključak

Crpilište Vinogradi uključeno je u pogon 25. srpnja 1984. godine. Crpilište se sastoji od 18 eksploatacijskih zdenaca kojima su zahvaćeni vodonosni slojevi u dubinskom intervalu od 40 m do 176 m, dok se ukupna debljina slojeva zahvaćenih zdencima kreće od 56,8 m do 78,7 m.

U okviru ovog diplomskog rada je analiziran utjecaj količine oborina te kolebanja crpnih količina u eksploatacijskim zdencima na razinu podzemne vode u zahvaćenom vodonosnom sustavu, s obzirom na udaljenost opažачkih objekata od linije eksploatacijskih zdenaca. Analizom je obuhvaćeno razdoblje od siječnja 2005. godine do prosinca 2015. godine.

Podaci prikupljeni u udaljenim opažачkim objektima prikazuju kolebanja razine podzemne vode uzrokovana vertikalnim parametrima vodne bilance. Režim rada zdenca gotovo nema utjecaj na razinu podzemne vode u tim objektima, kako u izvornom sloju, tako i u slojevima zahvaćenim zdencima na crpilištu. Na temelju podataka prikupljenih u opažачkim objektima smještenim neposredno uz liniju zdenaca, dobiveni su upravo suprotni rezultati. Režim rada zdenaca dominantno utječe na kolebanja razina podzemne vode u slojevima zahvaćenim eksploatacijskim zdencima, no uočava se i utjecaj sezonskih kolebanja oborina te promjene koje su posljedica zatvaranja zdenačkih sita, a prepoznaju se kao smanjenje razine podzemne vode u pojedinim intervalima. U razdobljima nakon pojave ekstremnih odstupanja količine oborina od prosjeka (ekstremno visoke količine oborina zabilježene 2005., 2010. i 2014. godine te ekstremno niske količine oborina zabilježene tijekom 2011. godine) zapaža se dominantan utjecaj vertikalne vodne bilance.

8. Literatura

DUIĆ, Ž. (2007): Obnovljivost zaliha podzemnih voda heterogenog vodonosnog kompleksa na primjeru osječkog crpilišta Vinogradi. Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

MAGAŠ, N. (1987): Osnovna geološka karta 1:100 000, list Osijek L 34-86. Geološki zavod Zagreb, 1981-1987. Savezni geološki zavod, Beograd.

MAGAŠ, N. (1987): Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Osijek L 34-86. Geološki zavod Zagreb, 1986. Savezni geološki zavod, Beograd.

URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J., VELIĆ, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih, te gornjo i srednjopleistocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. Četvrti jug. simpozij o hidrog. i inž. geol., knjiga 2, 395-410, Skopje.

URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J. (1978 a): O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska). Geol. vjesnik, 30/1, 297-308, Zagreb.

URUMOVIĆ, K., MAĐARAC, A. (1978 b): Studija vodoopskrbe Osijeka podzemnim vodama (I etapa). Fond stručne dokumentacije Vodovoda-Osijek.

URUMOVIĆ, K., MADŽARAC, A. (1981): Vodoopskrba Osijeka podzemnim vodama. Hidrogeološka studija (II etapa). Fond stručnih dokumenata Vodovoda-Osijek.

URUMOVIĆ, K. (1982): Hidrogeološke značajke istočnog dijela dravske potoline. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološki fakultet Sveučilišta u Beogradu

URUMOVIĆ, K., DUIĆ, Ž. i HLEVNJAK, B. (2011): Verifikacija rada crpilišta Vinogradi. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu.

[www.izvori:](http://www.izvori.hr)

DHMZ. *Praćenje klime* <http://meteo.hr/index.php> (dostupno 25.8.2016. u 15:35)